Boletín

#10

MINISTERIO DE MARINA

LIBRARY
JAN 16 1962
FISH & WILDLIFE SERVICE

Origen y relieve submarino del Estrecho de Gibraltar

por

Francisco Hernández Pacheco

BOLETÍN DEL

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFIA

N.° 105 MADRID Mayo 1961

ULTIMOS NUMEROS PUBLICADOS

70.—Francisco Hernández Pacheco: «Características del zócalo continental del Africa Occidental española». (Encuadernado con el boletín número 69.)

71.—Campañas del «Xauen» en los años 1949 y 1950. Registro de operaciones.

72.—M.ª Dolores García Pineda y Dominica Montequi: «Acerca de la sustancia anticoagulante de las algas rojas.»

73.—A. Rojo Lucio: «Datos sobre la edad del bacalao (*G. callarias* L.), eglefino (*Melanogrammus aeglefinus* L.), colín (*Pollachius virens* L.) y locha (*Urophycis tenuis* Mitch.), con indicación de las técnicas usadas.»

74.—Luis Lozano y Rey: «Sobre el fomento de la producción pesquera de las aguas marinas y salobres confinadas; en el litoral de España y en el de sus Territorios de Soberanía y de Protectorado.»

75.—A. R. de las Heras, R. López Costa, F. Cabañas, L. Rodríguez Molins y J. Besada: «Análisis de fondos de la Bahía de Cádiz.»

76.—Angeles Alvariño: «Estudio del zooplancton recogido en la campaña del «Vendaval», en Terranova. Marzo, abril y mayo de 1953.»

77.—Angeles Alvariño: «Zooplancton de Terranova (febrero, marzo y junio de 1955)». (Encuadernado con el Boletín núm. 76.)

78.—Antonio Fernández del Riego: «El contenido en carbono orgánico en los sedimentos de la ría de Vigo. Algunos datos sobre la relación carbono-nitrógeno.»

79.—D. Montequi y M.ª D. García Pineda: «Algunas observaciones acerca de la determinación del contenido lipídico en harinas de pescado.» (Encuadernado con el Boletín núm. 78.)

80.—Miguel Oliver: «Biología de la sardina de Baleares.»

81.—Angeles Alvariño: «Estudio del Zooplancton del Mediterráneo occidental.»

82.—Angeles Alvariño: «Zooplancton del Atlántico Ibérico. Campañas del «Xauen» en el verano de 1954.» (Encuadernado con el Boletín núm. 81.)

83.—«Campañas del «Xauen» en el Mediterráneo español y en las costas noroeste y cantábrica de España en el año 1951.»

84.—Rafael López Costa y Lorenzo Rodríguez Molíns: «Determinación colorimétrica del plomo en el mejillón (*Mytilus edulis*) y en el agua de mar de la ría de Vigo.»

85.—José Ramón Besada Rial y Lorenzo Rodríguez Molíns: «Determinación colorimétrica del glucógeno en el mejillón (*Mytilus edulis*).» (Encuadernado con el anterior.)

86.—Lorenzo Rodríguez Molíns: «Determinación colorimétrica del cobre en el agua de mar y en el mejillón (*Mytilus edulis*).» (Encuadernado con los dos anteriores.)

87.—Lorenzo Rodríguez Molíns y José Ramón Besada Rial: «Estudios químicos sobre el mejillón (*Mytilus edulis*) de la ría de Vigo.» (Encuadernado con los tres anteriores.)

(Sigue en tercera página de la cubierta.)

ORIGEN Y RELIEVE SUBMARINO DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

POR

FRANCISCO HERNÁNDEZ-PACHECO

Núm. 105 **Mayo 1961**

Depósito Legal 6.565.-1961

C. BERMEJO, IMPRESOR.—J. GARCÍA MORATO, 122.—TELÉF. 233-06-19.—MADRID

Francisco Hernández Pacheco

ORIGEN Y RELIEVE SUBMARINO DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

Antecedentes

El Estrecho de Gibraltar tiene antecedentes geotectónicos muy complejos, que se han venido desarrollando durante mucho tiempo y muy fundamentalmente a lo largo del Terciario, pues tal accidente se relaciona con una de las principales ramas del geosinclinal alpino que se establece en el Sur y Sureste de lo que hoy es Península hispánica, corriendo hacia el actual archipiélago balear y en zona de borde del antiguo macizo hespérico que quedó emergido más hacia el norte, a lo largo del Mesozoico y del Terciario (fig. 1).

Las transgresiones y regresiones marinas se van a suceder, iniciándose éstas en el Trías medio —Muschelkalk—, manteniéndose durante un largo período de tiempo, que va a abarcar todo el Secundario y los comienzos del Paleógeno, para restringirse mucho después en el Terciario inferior medio.

El paso de Gibraltar, además de dar origen a uno de los accidentes marítimos más interesantes del antiguo mundo, es el lugar hacia el cual concurren las alineaciones geotectónicas alpinas que pueden dar origen al arco bético-rifeño, roto y desgajado precisamente en el Estrecho, o siguiendo hacia Occidente, perderse en el Atlántico, al remitir tales accidentes y cubrir la cobertera secundaria, ya sin complejas estructuras, al subestrato paleozoico, que amplio se extiende en el dominio del Golfo de Cádiz.

También puede admitirse en el ámbito del Estrecho, que las alineaciones orogénicas, al alcanzar tales parajes, sufren una virgación

incurvándose las más internas, dando origen al arco bético-rifeño y prosiguiendo las otras más externas hacia el Atlántico donde, como se ha indicado, terminan por perderse.

Las opiniones sobre estas cuestiones están muy divididas, inclinándome yo francamente por este último modo de ver (figs. 2 y 3).

El Estrecho es un accidente que separa a Europa de Africa, al Atlántico del Mediterráneo, es decir, que queda localizado entre am-

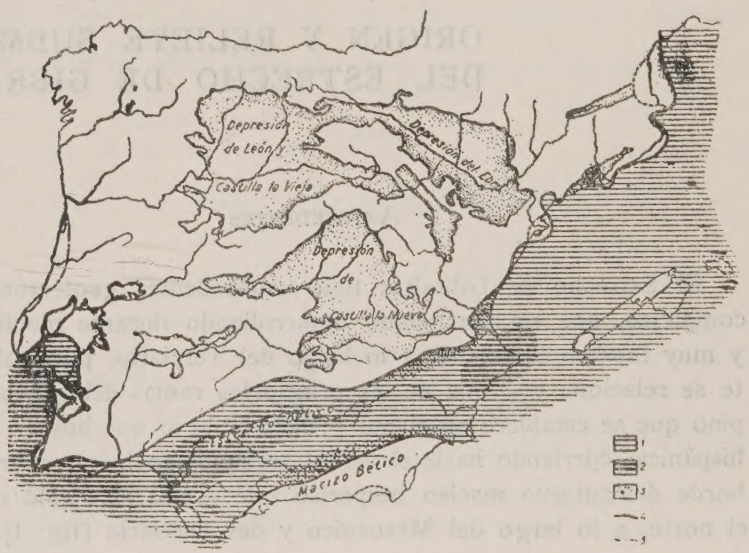

Fig. 1.—Zonas sedimentarias durante el Mioceno en la Península. 1: Máxima trasgresión marina. 2: Zonas marinas de mayor profundidad. 3: Derrubios detríticos depositados en el litoral durante el Mioceno y en las zonas marginales de las cuencas continentales. 4: Litoral mioceno. 5: Litoral plioceno. Según Solé Sabarís.

bientes muy diferentes, especialmente respecto a los marítimos, siendo el ámbito Mediterráneo en el que han acaecido en estos últimos tiempos fenómenos orogénicos-tectónicos de gran complejidad e importancia, que quedan reflejados por la gran inestabilidad de este área mediterránea, siendo la zona atlántica mucho más estable y hacia la que van remitiendo acentuadamente las complejas estructuras alpinas.

Todos los geólogos que han recorrido y estudiado las costas de la zona más occidental del Mediterráneo, o sea el Mar de Alborán, ad-

miten la unidad del Paleozoico, que en amplias zonas constituye su litoral, lo que supone la existencia de un gran compartimiento cortical emergido del Primario situado a Occidente del archipiélago ba-

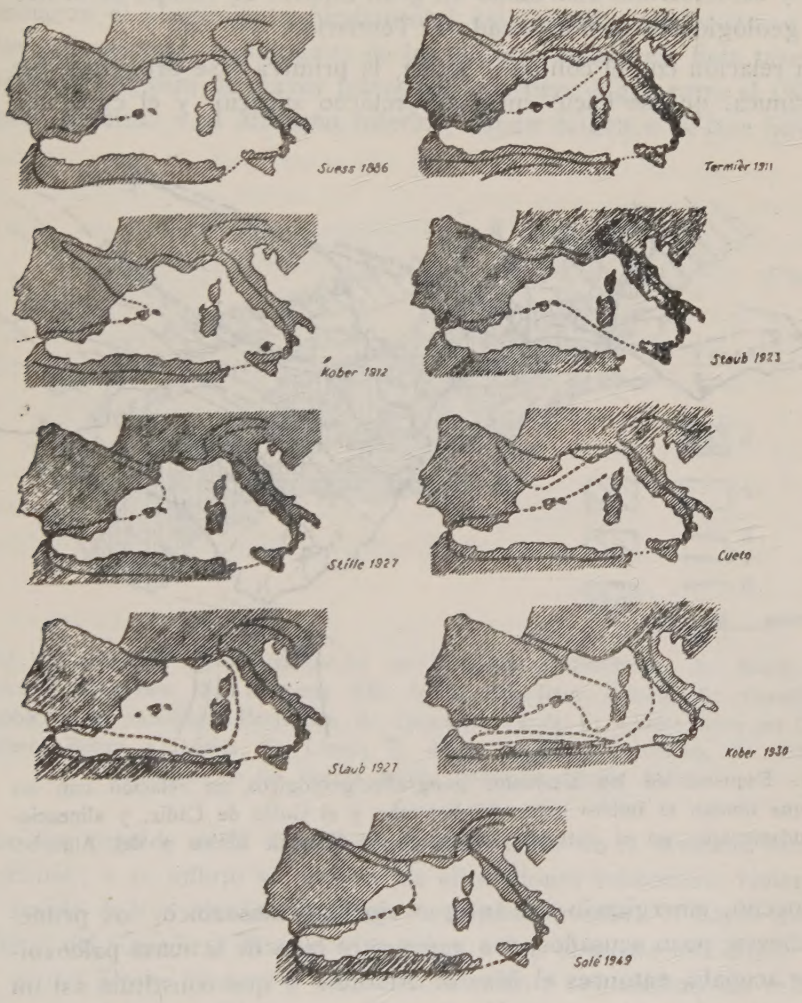

Fig. 2.—Diversas interpretaciones sobre la traza de los Alpides españoles.

lear y al este del Estrecho, al que rodearía con independencia las alineaciones mesozoicas que marcan su periferia, y que representan elementos empujados hacia el Norte, el Oeste y el Sur del indicado macizo, que quedó circundado así por este gran arco orogénico del sistema alpino.

La génesis de las montañas que hoy forman el conjunto bético, fue muy compleja; lo mismo ocurre con las que dan lugar a los relieves rifeños. El carácter orogénico de ambas zonas es de tipo peculiar y se desarrolló abarcando un gran espacio de tiempo de la historia geológica ya bien avanzado el Terciario.

En relación con el conjunto bético, la primera fase orogénica fue la larámica, que se inició entre el Cretáceo superior y el comienzo

Fig. 3.—Esquema de los elementos geográfico-geológicos en relación con las zonas que limitan el ámbito norte del Estrecho y el Golfo de Cádiz, y alineaciones fundamentales en el extremo occidental del Sistema Bético y del Algarbe.

del Eoceno, emergiendo del antiguo sinclinal mesozoico, los primeros relieves, poco acusados, y a uno y otro lado de la masa paleozoica que acupaba entonces el Mar de Alborán, y que constituía así un típico interpaís.

Tal fase orogénica estuvo desde un principio contrarrestada por un proceso erosivo muy enérgico, que va a dar origen a la formación del conjunto sedimentario de facies flysch, alternacia de bancadas de areniscas y de margas arcillosas que ampliamente ocupan el Campo de Gibraltar, y extensos espacios a levante de la Península de Yebala, que cubre y rodea a materiales más antiguos y resistentes,

como los jurásicos del Yebel Musa y los relieves areniscosos y calizos paleógenos de la serranía gaditana.

La segunda fase orogénica tuvo lugar entre el Eoceno superior y el Oligoceno. Estos son ya los movimientos pirenaicos que determinaron el plegamiento fundamental del conjunto penibético, o sea los relieves más meridionales de los macizos andaluces. Esta fase fue seguida por otra de mayor intensidad que tiene lugar entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior, dando origen a la fase Sávica,

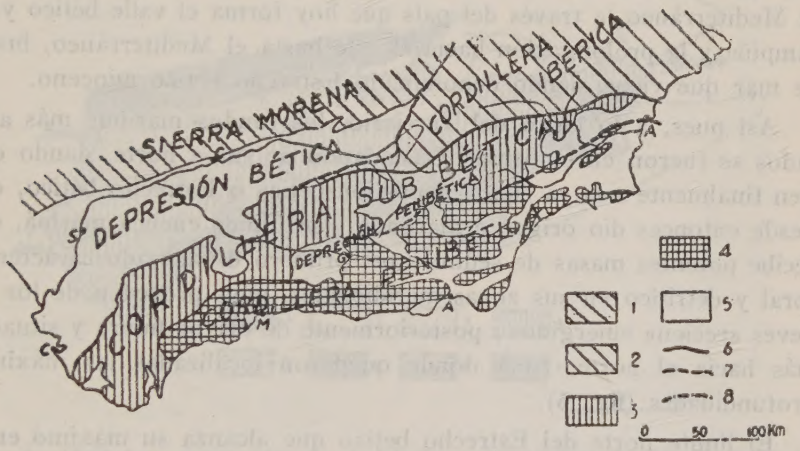

Fig. 4.—Unidades morfoestructurales de Andalucía y Penibética. 1: Borde del Escudo Hespérico. 2: Extremo SE. de la Cordillera Ibérica. 3: Cordillera subbética. 4: Cordillera Penibética. 5: Depresión bética. 6: Límite entre las Cordilleras Bética e Ibérica. 7: Límite N. de la Cordillera Penibética. 8: Límite occidental de las sierras ibérico andaluzas. Según Fallot.

que fue seguida de la Estaírica que tuvo lugar en el Mioceno burdigaliense; a su influjo se alzaron las alineaciones subbéticas, viniendo el frente de sus oleadas de pliegues a cabalgar sobre el borde meridional del Escudo o Macizo Hespérico, o sea el frente meridional de la actual Sierra Morena y cubriendo incluso a los sedimentos relativamente recientes del Burdigaliense.

Así, estos fenómenos de plegamiento que comenzaron hacia el Sur con la fase larámica, se propagaron y extendieron en el tiempo hacia el norte, mediante los movimentos pirenaicos, sávicos y estaíricos, plegando y alzando las montañas que hoy cruzan casi de este a oeste las zonas meridionales de la Península, que quedaron constituídas ya bien avanzados los tiempos miocenos, época en las

que se constituyen, entre el borde meridional del conjunto subbético y el septentrional Penibético, una depresión longitudinal muy acusada, que ha venido manteniéndose hasta nuestros días, o sea, la depresión intrabética, jalonada por las cuencas de Huercal-Overa, Baza, Guadix, Granada y Antequera (fig. 4).

Entre el borde meridional del Escudo Hespérico y el frente de los plegamientos subbéticos, se estableció la depresión bética, o sea, la prefosa alpina, depresión que fue ocupada por un gran brazo de mar que con anchuras de unos 200 kilómetros, unía el Atlántico con el Mediterráneo, a través del país que hoy forma el valle bético y su campiña y la prolongación hacia el este hasta el Mediterráneo, brazo de mar que viene siendo denominado Estrecho bético mioceno.

Así pues, a lo largo del Terciario, los fondos marinos más acusados se fueron en el tiempo trasladando de sur a norte, dando origen finalmente a la ya citada depresión bética o Estrecho bético, que desde entonces dio origen a alargada y profunda cuenca marina, que recibe potentes masas de sedimentos, primero de acusado carácter litoral y detrítico en sus zonas meridionales, pues proceden de los relieves «recién» emergidos ; posteriormente de mayor finura y situados más hacia el norte, zona donde quedaron localizadas las máximas profundidades (fig. 5).

El límite norte del Estrecho bético que alcanza su máximo en el Helveciense, era muy preciso, pues lo formaba el borde fracturado o gran falla de la Sierra Morena ; el meridional por el contrario, era muy dudoso e irregular, pues quedaba marcado por el borde Norte de los relieves subbéticos que no eran aún muy marcados, y que en gran parte aparecían soterrados por sus propios derrubios.

Coincidiendo con esta serie de intensos y complejos fenómenos, se abismó el bloque paleozoico cortical que ocupaba, entre el sur de la Península y el norte de Africa, lo que hoy es Mar de Alborán, pues entonces no existía discontinuidad de tierras entre ambos continentes, en estas zonas occidentales del viejo mundo.

Al mismo tiempo que los fenómenos orogénicos van remitiendo, los erosivos y sedimentarios alcanzan gran desarrollo, atacando los relieves recién emergidos, que llegaron así a ser relativamente poco acusados. Finalmente, todo el conjunto montañoso y en especial el meridional o Penibético fue afectado por amplios pliegues de fondo de muy gran radio, lo que determinó la elevación en masa a gran altura de todo este gran compartimiento cortical. Tal fenómeno deter-

minó el desagüe de la depresión intrabética y de la depresión bética, que había venido funcionando, ésta como gran estrecho marino entre el Atlántico y el Mediterráneo, rellenándose ambas en gran parte por aluviones de facies continental, lo que alcanzó un mayor desarrollo en el Pontiense, depósitos que ofrecen importantes espesores.

Durante el Plioceno, el mar vuelve a invadir la depresión bética, pero en áreas mucho más restringidas y sin comunicación ya entre

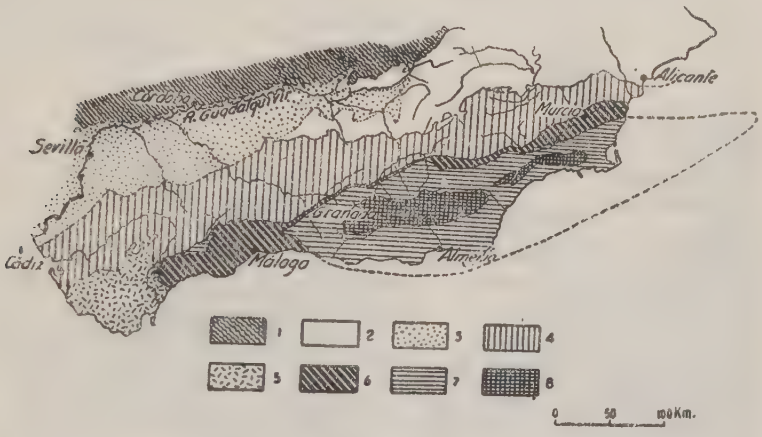

Fig. 5.—Unidades estructurales de Andalucía, según Fallot. 1: Macizo hercínico o Escudo Hespérico. 2: Cobertura mesozoica plegada. 3, Depresión terciaria o antefosa bética. 4: Zona subbética del geosinclinal alpino mesozoico. 5: Flysch del Campo de Gibraltar. 6: Unidades de la Cordillera Penibética. 7: Manto de Málaga fundamentalmente paleozoico. 8: Núcleo metamórfico de Sierra Nevada. Línea de puntos: dominio del conjunto penibético.

el Océano y el Mediteráneo, pues esta nueva transgresión sólo dió origen a un golfo bien acusado en el litoral levantino, y a otro mucho más amplio y profundo del lado del Atlántico, pues las aguas marinas alcanzaron zonas hoy situadas al pie de la loma de Úbeda, al SE. de Linares.

Ambos golfos marinos pliocenos fueron rápidamente ocupados por sedimentos terrígenos acarreados por los ríos, fenómeno muy acusado por el Guadalquivir. Al mismo tiempo, nuevos movimientos de elevación afectaron a estas zonas peninsulares, lo que provocó la retirada de las aguas marinas, movimientos intensos, pues determinaron que niveles del Plioceno inferior aparezcan hoy situados a más

de 1.000 metros de altitud en determinadas zonas de la depresión intrabética.

Del lado atlántico, el golfo plioceno persistió algo más, pero pronto dio origen a amplio estuario, luego a un gran lago más o menos aislado del mar libre, terminando por colmarse y degenerar, ya en el Cuaternario, y constituir el lago Ligustinus de tiempos romamanos, y finalmente las amplias marismas de los actuales tiempos (fig. 6).

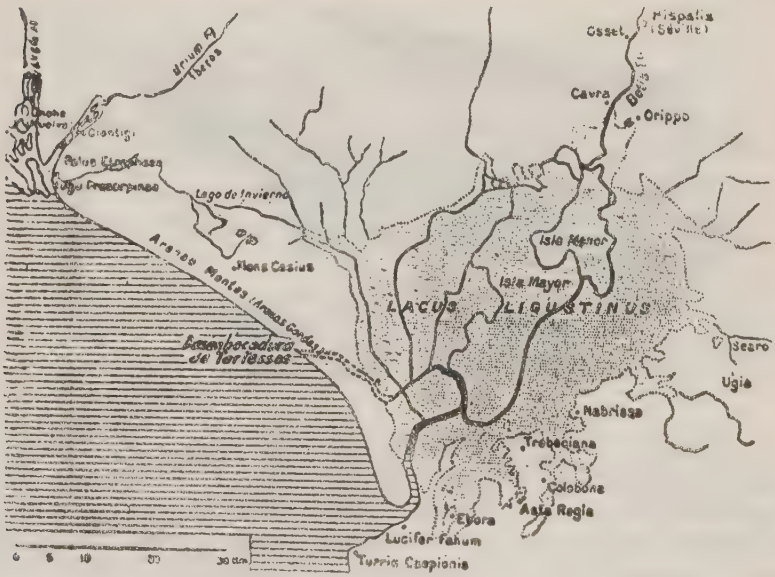

Fig. 6.—Extensión del lago Ligustinus en la época romana, ocupando la zona actual de las Marismas, según Bonsor.

La historia geológica ya directamente relacionada con el Estrecho de Gibraltar vemos que comenzó en tiempos terciarios ya adelantados y alcanza hasta épocas muy avanzadas del Plioceno, que es cuando tiene lugar su apertura, al mismo tiempo que se levantan en masa los relieves penibéticos y se abismó la masa continental paleozoica que ocupó el Mar de Alborán.

Pero aún en época actual, estos procesos pueden seguirse si bien muy aminorados, acusándose la inestabilidad del área del Estrecho por la serie de los diferentes niveles de playas levantadas, que siendo fundamentalmente debidas a variaciones del nivel eustático, no ofre-

cen la misma altitud, en zonas diferentes las de la misma época, lo que denuncia la influencia de fenómenos epirogénicos.

Es también toda esta área de sismicidad acusada, acrecentada en el conjunto penibético. Al este de Gibraltar se acusan las manifestaciones volcánicas, algunas recientes, como sucede con la isla de Alborán, que ocupa un área de gran inestabilidad. En realidad, la apertura del Estrecho no fue más que uno de los accidentes, y por cierto el más espectacular que en estos parajes ha tenido lugar, en tiempos límites entre el Plioceno y el Cuaternario, siendo por ello tal paso marítimo un postrer fenómeno muy notorio, de la orogenia alpina.

Rasgos geotectónicos del Estrecho de Gibraltar

El Estrecho, como es natural, ha llamado mucho la atención tanto desde el punto de vista geográfico, como geológico. Es a Gavala a quien se debe un mapa detallado de tal región. Posteriormente trabajaron también en estas zonas Fallot y Marín, y más recientemente García Siñeriz. En estos últimos tiempos se ha publicado un trabajo interesante del Estrecho por Reig Villaplana. Anteriormente también hice una descripción geológica de este ambiente. Otros autores se han ocupado del Estrecho, si bien ya no tan directamente

Por los diversos trabajos se deduce que el conjunto de fallas que afectan estos parajes individualizan a un conjunto conjugado que forma entre sí ángulos comprendidos entre unos 105 y 120 grados Tal es lo que hace ver Reig Villaplana

Tal fenómeno está de acuerdo al afectar las fallas a un conjunto o bloque cortical no absolutamente rígido. Al mismo tiempo se aprecia que la dirección principal bisectriz del citado conjunto de fallas está desplazado hacia el oeste unos 20°, respecto a la dirección meridiana, lo que denuncia un desplazamiento lateral de las masas corticales en las que se ha abierto el Estrecho, que queda establecido con un paralelismo muy marcado en relación con fracturas de tensión arrumbadas de SW. a NE.

Puede, pues, localizarse en tal zona un área de mínima resistencia, con desenganche o deslizamiento longitudinal más o menos acusado, a lo largo de una gran fractura que corre por el centro de este accidente geográfico-tectónico, dirección con la que en cierto modo

coinciden las líneas de costa en su máxima angostura, y muy especialmente del lado africano (fig. 7).

También se han registrado fracturas o al menos accidentes de discontinuidad, orientados de Norte a Sur, no tan importantes como los anteriormente citados. Pudieran ser interpretados como fallas de tensión, pero como estas zonas del Estrecho en el dominio orogé

Fig. 7.—Esquema geológico del ámbito del Estrecho de Gibraltar y corrida de las fundamentales alineaciones de fracturas, con indicación del desenganche lateral a lo largo del eje del Estrecho. Datos de Reig Villaplana.

nico del arco bético-rifeño, han estado sometidas a intensas presiones tangenciales dirigidas hacia la periferia, también estos accidentes pudieran ser debidos a discontinuidades motivadas por mantos de corrimiento, lo que en este caso estaría favorecido por la gran plasticidad del Flysch y del Keuper, que en grandes zonas forman el ámbito del Estrecho.

Todo este conjunto de accidentes, al entrecruzarse entre sí en las inmediaciones y en el área del Estrecho, da origen al conjunto de bloques del que ya se ha hecho mención, y que en cierto modo se siguen moviendo con intensidad más o menos acusadamente, pu-

diendo haber basculado, a lo que es debida la complejidad geotectónica de este angosto paso marítimo y su atormentada batimetría.

Rasgos del ámbito oriental del Estrecho

Hacia el Este, los rasgos geotectónicos son ya muy diferentes. En las tierras actualmente emergidas que forman las costas de esta zona o Mar de Alborán, destacan las alineaciones béticas en sus conjuntos penibéticos de orogenia típicamente alpina. Estas alineaciones se caracterizan por una estructura muy compleja, en la que domina la disposición imbricada dada por mantos de corrimiento, que se han desplazado en general de sur a norte del lado de la Península y de norte a sur del lado rifeño.

En relación con el valor del desplazamiento de tales mantos, las opiniones han venido siendo muy diferentes, pudiendo decirse que desde las primeras hipótesis de Staub y de los geólogos de la Escuela holandesa, hasta los estudios más modernos, especialmente de Fallot y Blumenthal, y de la opinión de los geólogos españoles, dichos desplazamientos se han ido reduciendo hasta el punto de ser considerados hoy como locales en muchos espacios, adquiriendo gran desarrollo en otras zonas, pero siempre dentro del dominio del Sistema Bético.

Hay que hacer destacar que en relación con la estructura geotectónica, las montañas rifeñas son más complejas que las del conjunto penibético, pero sus mantos corridos y cabalgamientos alcanzan desarrollo semejante a los observados en estas otras zonas.

Por ello hay que admitir, como ya se ha hecho notar, la existencia en lo que hoy es Mar de Alborán, de una masa continental emergida, cuando las fases orogénicas alpinas tenían lugar, según indican Marín y Fallot, masa de tierra rígida y de edad paleozoica, contra la que vendrían a replegarse las formaciones más modernas que dieron fundamentalmente origen a este gran arco montañoso que hoy circunda al Mediterráneo en su porción más ocidental entre la Península y el Africa, enlace que como ya se ha indicado, para unos existe, para otros no, siendo probable que exista una divergencia de pliegues en esta zona como se ha hecho notar (figs. 3 y 8).

Como núcleos resistentes, por su gran potencia y rigidez, en estas zonas plegadas del arco bético-rifeño destacan en la porción

más occidental los macizos jurásicos de Gibraltar y del Yebel Musa, que han jugado por ello con cierta autonomía. Como conjuntos blandos y de gran plasticidad están las potentes masas de arcilla del Trías superior y muy especialmente en pleno Estrecho de las formaciones del flysch, que desde el Cretácico superior al Oligoceno

Fig. 8.—Alineaciones de los ejes anticlinales y sinclinales y de las corridas de los estratos en las zonas meridionales de la provincia de Cádiz, en relación con el Estrecho de Gibraltar y directriz general de los plegamientos, con la probable divergencia en el arrumbamiento general de estos accidentes.

inferior tan gran desarrollo alcanzan, especialmente al Norte de la Península de Yebala y fundamentalmente del lado de España, y de época eocena en todo el campo de Gibraltar, siendo estas masas las que de modo destacado han favorecido los replegamientos, deslizamientos y cabalgamientos que caracterizan a la compleja tectónica de esta zona.

Por lo que hoy se sabe en relación con la geología y estructura del amplio golfo de Cádiz, esta zona es una entidad geomorfológica que prolonga bajo el Atlántico el subestrato y la cobertera de la depresión bética. Este conjunto ha tenido un proceso geotectónico mucho más sencillo que el de los espacios situados más hacia el este.

Como accidente principal en tal zona es necesario destacar la gran fractura existente entre el subestrato paleozoico de Golfo de Cádiz y el borde meridional del Escudo Hespérico a lo largo de El Algarbe, fractura que no es más que la continuación natural hacia el Oeste de la que constituye el frente meridional de Sierra Morena, accidente, como es sabido, de extraordinaria importancia, que por haber jugado con movimiento de cizalla se pierde hacia levante, alcanzando el nudo de Alcaraz.

Como no es posible directamente y en detalle reconocer las series sedimentarias que descansan sobre el subestrato paleozoico que forma el zócalo del Golfo de Cádiz, ni tampoco las que constituyen amplios espacios de la provincia de Cádiz, al estar éstas cubiertas por los depósitos eocenos, ha sido necesario tener en cuenta los datos suministrados por un conjunto de sondeos mecánicos, comentados por Gavala y Ríos, efectuados en tales dominios, y llevar a cabo una prospección geofísica sísmica en los dominios del Golfo de Cádiz, lo que ha permitido deducir el carácter de la serie sedimentaria en tales zonas según estudios de Gaibar y colaboradores.

Se aprecia por estos sondeos (fig. 9), y especialmente por cuatro de los principales, que el recubrimiento cuaternario acusadamente detrítico uniforme y de facies litoral, queda comprendido entre los 558 y 596 metros, siendo tal formación continua en el subsuelo del país El Mioceno, no muy diferente y fundamentalmente margoso-arcilloso es algo más variable en potencia, pues oscila entre 511 a 1.511 metros. Existe también una pequeña masa caliza, sondeo 7, con sólo 26 metros de potencia que pudiera, con duda, representar al Oligoceno.

El Secundario queda representado por una serie de borde de geosinclinal bien desarrollada en sus tres principales períodos, al-

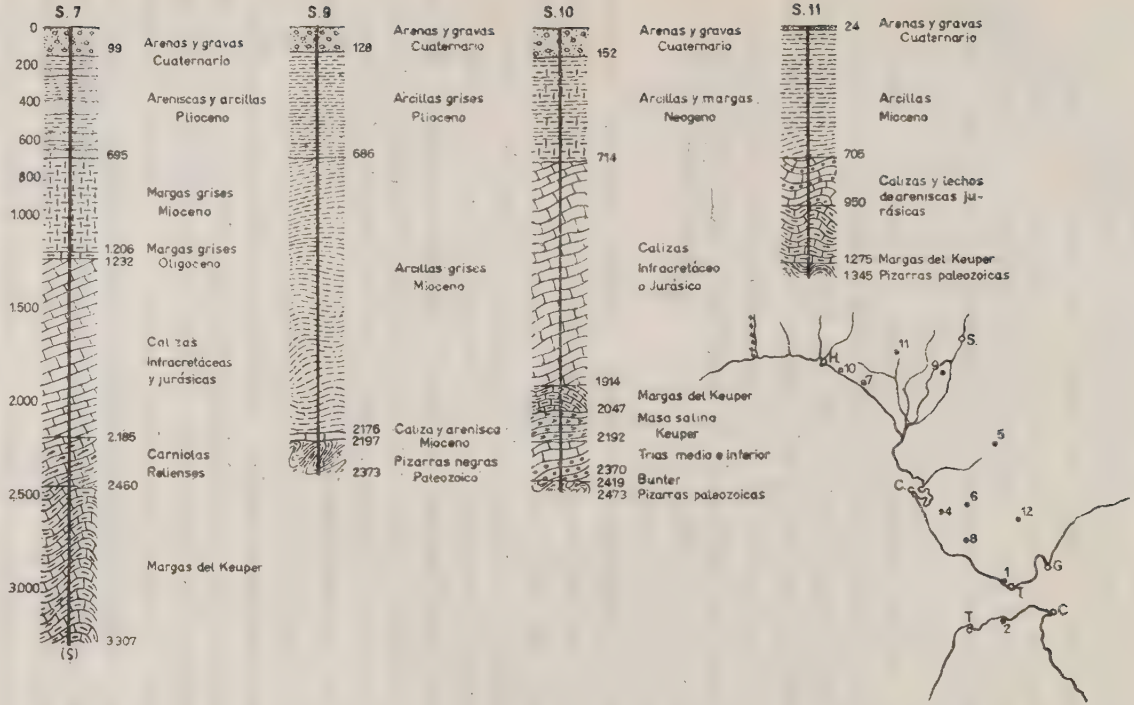

Fig. 9.—Localización de los sondeos que se citan y series litológicas atravesadas en los sondeos 7, 9, 10 y 11, localizados en la zona de Las Marismas del Guadalquivir. Datos de Gavala, Ríos y Gaibar.

canzando el conjunto cretáceo-jurásico potencias comprendidas entre 245 a 1.200 metros y el triásico de 325 a 847 metros.

La sonda perforó siempre un subestrato paleozoico pizarroso con valores de 54 a 176 metros, pero sin salir de él como es natural.

Se deduce además, que todas las formaciones han estado sometidas en este amplio espacio a intensas fases de erosión, debiendo existir además de las discordancias por falta de depósito, otras de tipo tectónico.

El débil espesor o ausencia muy probable del Oligoceno y de las formaciones del Flysch hacia estos parajes, tan potentes hacia las zonas del Estrecho, hacen ver que la geosinclinal paleógena debió quedar situada más hacia el este de la actual desembocadura del Guadalquivir, mientras que las zonas de sedimentación neógenas, se extendieron más hacia el W. en zonas de borde, materiales que son los que se han alcanzado con los sondeos, creciendo en potencia al adentrarse en la depresión del Guadalquivir.

La serie mesozoica queda ahora localizada hacia el SSW. de Sevilla, zonas donde ya alcanza potencias de 1.705 m. y de 2.075 metros, según determinados sondeos. Si la potencia de tal conjunto es débil o llega a faltar, como sucede hacia las marismas de la Isla Mayor, ello puede significar el haber desaparecido, conjuntamente con el Oligoceno, debido a fenómenos erosivos, antes de iniciarse las transgresiones miocenas. De todos modos, las potencias del mesozoico deben aumentar hacia la depresión bética, debiendo enlazar tales conjuntos con los del Algarbe, a través del borde norte de la plataforma submarina del Golfo de Cádiz, en donde en parte están cubiertos por formaciones geológicas modernas.

Mediante seis perfiles sísmicos, se ha podido determinar la existencia de cuatro horizontes de diferentes características sísmicas, teniendo en cuenta las velocidades medias de comprensión de los mismos, con valores de 1,85, 2,37, 367 y 564 Km./seg., los que corresponden, según los técnicos que intervinieron en estas investigaciones, a las formaciones detríticas del Plioceno y Mioceno, al complejo sedimentario calizo del Cretáceo-jurásico, a las masas margosas del Keuper y las últimas al zócalo pizarroso paleozoico que aflora hacia el Noroeste del área marina investigada, en el borde paleozoico meridional del Escudo Hespérico.

El Neógeno aumenta en potencia en general hacia el Norte en la amplia zona explorada, teniendo en cuenta la distribución especial

de sus potencias relativas, variando éstas entre 200 y 1.000 metros. La formación caliza del Mesozoico aumenta en potencia hacia el oeste, teniendo en cuenta su distribución especial, oscilando entre 0 metros y los 2.000 metros. El Triásico, con dominio casi absoluto del Keuper margoso salino, se aprecia que aumenta claramente hacia el sur, oscilando su potencia de 0 a 2.500 metros.

En cuanto al techo del subestrato paleozoico, ofrece acentuada inclinación hacia el sur, en dirección de los dominios de los grandes fondos oceánicos, situados más allá y lejos de la plataforma continental ahora por estos métodos explorada.

Teniendo en cuenta la gran variedad de espesores de las diferentes formaciones, el aumento de éstas en determinadas direcciones y la inclinación más o menos acusada de los diferentes conjuntos en determinados rumbos, es preciso admitir que entre ellos existan acusadas discordancias, tanto erosivas como tectónicas, y muy especialmente entre el Terciario y el Mesozoico y entre la base del Trías y el basamento paleozoico.

Características físicas del Estrecho

Se abre el Estrecho de Gibraltar en los dominios de la España cálcica del Hernández-Pacheco, Ed., pero los materiales calizos que forman en gran parte del terreno van entremezclados, embutidos en masas arcillo-margosas que alcanzan gran potencia, conjuntos blandos y de gran plasticidad, que han dejado sentir acusadamente su influjo en el carácter y morfología de estas zonas, tanto en las tierras emergidas como en los fondos marinos, que acusan una batimetría muy compleja.

Existe también variación grande de materiales siliceos representados por areniscas paleógenas, debido a lo cual una vegetación muy compleja de matorral y arboleda residual silicícola cubren al terreno, que por su relieve, vegetación y roquedo, da origen a un paisaje de extraordinaria variedad y muy pintoresco.

Entre la Punta de Tarifa, extremo más avanzado del tómbolo de la isla de las Palomas, y Punta Alcázar Seguer en tierras africanas, la distancia es de unos doce kilómetros. Hacia el E. y W. se ensancha esta angostura que pudiera quedar limitada del lado de España entre Punta Carnero al este, límite por Occidente la bahía de

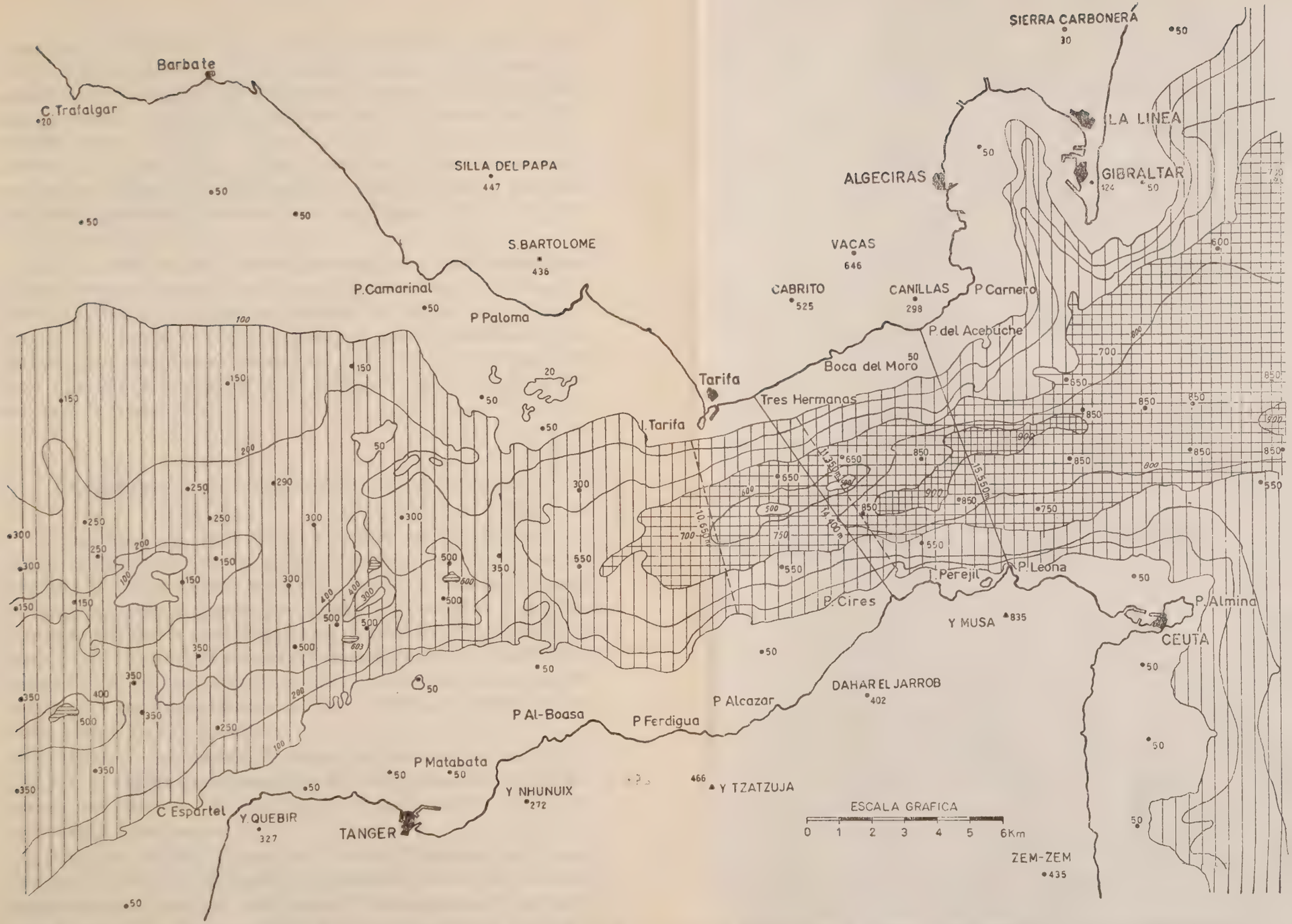

Fig. 10. -Esquema batimétrico del Estrecho de Gibraltar y de las zonas mediterráneas y atlánticas que lo limitan. Datos tomados en la Carta Batimétrica del Estrecho de Gibraltar, levantada por el Instituto Español de Oceanografía a escala 1:100.000. Madrid, 1957.

En blanco, fondo hasta 100 metros; rayado vertical, de 100 a 700 metros; cuadriculado grande, de 700 a 850 metros, y cuadriculado pequeño, más de 850 metros.

Algeciras, a Punta Camarinal al oeste, trayecto litoral de unos treinta y nueve kilómetros, que puede quedar dividido en dos tramos, uno oriental entre Tarifa y la citada Punta del Carnero bastante rectilíneo, muy escarpado, con escasas y estrechas playas, orientado de WSW. a ENE., con un desarrollo de unos dieciocho kilómetros, y otro occidental, que desde Tarifa a Punta Camarinal, alcanza un desarrollo de veintiún kilómetros, siendo mucho menos escarpado y con grandes frentes playeros, destacando en él las ensenadas de Valdevaqueros y de Bolonia (fig. 10).

La costa marroquí del Estrecho quedaría comprendida entre Punta Almina, extremo oriental del promontorio del Hacho en Ceuta, a Cabo Espartel al oeste, en un recorrido de sesenta y cuatro kilómetros. Este litoral es muy escarpado, en general acantilado e inabordable, con muy escasas escotaduras y playas, no mereciendo destacar mas que la amplia bahía de Tánger al W. y la menos pronunciada de Ceuta al E.

Caracteres generales de los fondos del Estrecho

La angostura del Estrecho de Gibraltar queda reducida entre 14.350 y 15.420 metros en un espacio a lo largo del eje de este paso marítimo de unos 8,5 Km.; hacia el E. y el W. el Estrecho se ensancha acusadamente, y pasadas las puntas del Camarinal y del Carnero al E. y W. en el litoral español y Punta Leona al E., y Punta Alboasa al W. en el litoral africano, el Estrecho como tal tiende a desaparecer, si bien como acusado accidente geográfico pudiera quedar limitado por los cuatro puntos de Cabo Trafalgar, Punta Europa, Punta Almina y Cabo Espartel.

En la zona francamente angosta, la batimetría es muy compleja y muy acusada, pero destaca en todo este estrecho paso una plataforma que rara vez deja de existir, limitada por la curva batimétrica de los 100 metros.

Del lado de España, a partir del Cabo de Trafalgar, este verdadero zócalo litoral se desarrolla ampliamente, alcanzando anchuras máximas de unos 14,5 Km. a la altura de la ensenada del Barbate o Zahara. Se estrecha mucho en Punta Caraminal, pues queda reducida tan sólo a cuatro kilómertos, ensanchándose de nuevo a la altura de Punta Palomas, en donde alcanza los ocho kilómetros, teniendo en

estos parajes la plataforma fondos bastante destacados de la costa y muy adentrados en el Estrecho, de tan sólo 20 metros (fig. 10).

A partir de la Isla de las Palomas, o de Tarifa, este zócalo continental da origen a un verdadero andén de gran regularidad, que se mantiene paralelo a la línea de costa con anchuras de 2 y 2,5 kilómetros, hasta alcanzar Punta Carnero o iniciarse la Bahía de Algeciras, zona donde también el litoral ocidental del norte y NE. está seguido por tal zócalo submarino con anchura bastante regular de unos cuatro kilómetros, reduciéndose bastante y especialmente del lado de Gibraltar, y sobre todo en el extremo Sur del Peñón, donde sólo alcanza de 1 a 2 kilómetros, para volver a ensancharse, y ya irregularmente entre 2 y 6 kilómetros, salvada Punta Europa, hasta rebasar la desembocadura del Guadiaro.

Del lado de Africa, esta plataforma se ensancha mucho hacia el Atlántico, salvado Cabo Espartel, pues a poco, y ya en pleno Atlántico, alcanza anchuras muy superiores a 18-20 kilómetros.

Dentro del Estrecho la plataforma, que sólo alcanza unos 1.800 metros a la altura de Cabo Espartel, se ensancha hasta 10 Km. al alcanzarse la bahía de Tánger, destacando un bajo fondo casi en el borde del accidente submarino con sólo 50 m. de profundidad.

Hacia Punta Malabata, que limita la bahía de Tánger por el este, la plataforma alcanza unos siete kilómetros, avanzando mucho la curva batimétrica de los 50 metros hacia afuera. En Punta Albaosa, el zócalo se reduce a cuatro kilómetros, manteniéndose con tal anchura hasta la Punta Ferdiguera. Vuelve a dar origen a un gran ensanchamiento a la altura de Punta de Alcázar Seguer, donde al iniciarse la máxima agostura del Estrecho, este zócalo alcanza los siete kilómetros

Desde este punto tiende rápidamente a estrecharse, oscilando su anchura entre 1 y 2 kilómetros entre Punta Cires y Punta Leona, desapareciendo casi en este paraje y poco después de la Isla de Peregil como tal accidente. A la altura de la ensenada de Ceuta el zócalo vuelve a ensancharse hasta unos cuatro kilómetros, para ya en el dominio del litoral mediterráneo y salvada punta Almina en el promontorio de Ceuta, dar origen a un zócalo irregular por su anchura, que varía entre 3 y 8 Km. hasta más allá de Cabo Negro.

Dentro del Estrecho y concretamente entre la Isla de las Palomas, en Tarifa, y la Punta de Alcázar Seguer, en Africa y entre la Punta del Carnero al iniciarse la bahía de Algeciras y Punta Leona,

la angostura del Estrecho, entre los bordes de este zócalo de 100 metros es tan sólo de unos 11,5 Km. (11.350 m.), pero algo más hacia el W. a la altura de la isleta de Tarifa, la distancia mínima entre los bordes del zócalo queda reducida al máximo, o sea, a unos 10,5 kilómetros (10.650 m.) (fig. 10).

El estrecho submarino, sumamente marcado con anchuras muy semejantes de unos 11 Kms., se prolonga hasta alcanzar la bahía de Tánger, donde cesa la angostura, al mismo tiempo que los fondos han ido disminuyendo mucho, de tal modo que estos parajes no alcanzan ya, salvo en reducidas zonas, fondos superiores a los 450 m.

Más hacia el Atlántico, a partir de estas zonas, el estrecho corredor submarino se ensancha acentuadamente, perdiéndose como tal accidente en los dominios del Atlántico. Al comienzo del estrechamiento se alcanzan en zonas restringidas fondos de hasta 500 y 600 metros.

A partir de este zócalo litoral, que tan notoriamente destaca en los dominios del Estrecho, los fondos a uno y otro lado se inician mediante un escarpe muy pronunciado que rápidamente desciende hasta alcanzarse fondos en la máxima angostura de 850 metros del lado de Africa, y de 600-650 metros del lado de España. Ambos surcos quedan separados por un alargado y pronunciado promontorio submarino, longitudinalmente centrado en la angostura del Estrecho, y que desde los fondos indicados se levanta hasta alcanzar curva batimétrica de los 500 metros.

Un corte transversal desde Punta Cires en Africa, al litoral español en el punto medio situado entre la Boca del Moro y Algeciras, ofrece el perfil que muestran las figuras 10 y 11.

Si analizamos los fondos en sentido longitudinal, al iniciarse la angostura del lado del Atlántico, son muy desiguales y no excesivamente profundos, pues sólo en parajes muy restringidos en verdaderas y pequeñas fosas, se alcanzan fondos de hasta 600 metros. Tal es lo que sucede a la altura de la bahía de Tánger, quedando desplazados algo hacia el sur. Por el contrario, más hacia el norte, un verdadero bajo fondo derivado de la plataforma o zócalo litoral de los 100 metros, avanza irregularmente, limitando un pequeño banco con fondos algo mayores, pero no acusados (figs. 10 y 11).

Más hacia el este, las profundidades aumentan en el eje del Estrecho, alcanzándose pronto los 600-650 y 700 metros, lo que sucede a la altura de Tarifa, creciendo más y más los fondos que a la

Fig. 11.—Perfiles transversales del Estrecho de Gibraltar, según las alineaciones indicadas en la figura 10, en la zona de máxima angostura. Datos tomados de la Carta Batimétrica del Estrecho de Gibraltar, levantada por el Instituto Español de Oceanografía a escala 1:100.000. Madrid, 1957.

de Punta Cires han rebasado los 800 metros. Precisamente, en este espacio es donde destaca la loma central longitudinal, que en su extremo oriental desde 500 metros domina fondos de hasta 900 metros, los que quedan situados en el eje del Estrecho a partir de Punta Cires hacia el este.

Esta loma o gran banco submarino central por el norte no domina como se dijo, a un surco tan acentuado como el que queda al sur, pues en éste se alcanzan los 750 metros, mientras que al norte los fondos son tan sólo de 600 a 650 metros.

Las profundidades mayores, pues, en la angostura del Estrecho, quedan en la zona de máxima estrechez y un poco hacia el este. Más hacia el Mediterráneo, los fondos son mucho más homogéneos, si bien éstos, en un amplio espacio sean ya siempre superiores a los 850-900 metros, alcanzándose a poco los 1.000 entre la embocadura del Estrecho del lado del Mediterráneo y la Isla de Alborán.

Significación de los accidentes submarinos del Estrecho

Dado el desarrollo de la plataforma litoral del Estrecho, su gran uniformidad, y sobre todo su continuidad, pudiera muy bien representar los límites del Estrecho durante los períodos glaciares máximos, en los que el nivel eustático del Océano debió quedar unos 100-120 metros más o menos por bajo del nivel actual. Ello hace pensar en la existencia de un paso francamente angosto durante las máximas glaciaciones últimas, durante las cuales sería cuando por abrasión marina debió labrarse la indicada plataforma submarina. Así hoy, dentro de los dominios del Estrecho, existe un verdadero canal submarino estrecho y profundo (fig. 10).

La gran loma longitudinal de 1 a 2 kilómetros de anchura por 10 de longitud, centrada en la máxima angostura, no se explica sino se admite la presencia de un gran macizo de rocas de gran resistencia y compacidad. Pudiera quizá representar tal accidente una gran mole caliza del tipo de las del Peñón de Gibraltar y del Yebel Musa (figura 10).

Los dos surcos que al norte y especialmente al sur de esta gran mole existen, deben estar excavados o bien en el Flysch paleógeno o en las zonas del Keuper triásico, los que deben estar en relación además, y especialmente el meridional, con grandes fracturas longi-

tudinales, las que seguidas por las corrientes primero del Atlántico al Mediterráneo al abrirse el Estrecho, y luego por los de descarga del Mediterráneo hacia el Atlántico, han ahondado estas zonas de mínima resistencia, ocupadas además como se ha indicado por materiales de escasa consistencia.

La gran hondonada situada más hacia el este, en zona de confluencia de ambos surcos, no sería sino zona del ahondamiento primitivo efectuado fundamentalmente por la «caída» de aguas atlánticas hacia el Mediterráneo.

Como las corrientes bien en uno u otro sentido no han cesado, estos surcos y pequeñas fosas, situadas a la entrada del Estrecho del lado del Mediterráneo, persisten al no existir en estos parajes sino el proceso erosivo y de arrastre, que mantienen limpios los grandes fondos de toda sedimentación.

En relación con el pronunciado y profundo surco que inician dose en el fondo de la bahía de Algeciras, alcanza los grandes fondos, hasta los 900 metros, del Estrecho, del lado del Mediterráneo, ha de estar en relación con una gran fractura transversal y semejante a la que ha dado origen a la cara oriental del Peñón de Gibraltar, la que mira hacia el Mediterráneo (fig. 10).

Todo esto nos habla de lo reciente, geológicamente hablando, que es la apertura del Estrecho, y cuya configuración es debida al doble efecto de una tectónica de fractura muy movida que afecta muy intensamente a uno de los arcos más importantes y occidentales de estas alineaciones alpinas, y a un proceso erosivo muy enérgico, debido a muy fuertes corrientes marinas, que han removido y continúan socavando los fondos de este angosto paso marítimo, accidente situado entre las dos masas fundamentales del Viejo Mundo, y precisamente en zona donde más enérgicamente se han desarrollado sus acciones y reacciones en época alpina.

Como resumen, el Estrecho de Gibraltar es un accidente geográfico-geológico de extrema importancia, una de las postreras e importantes manifestaciones derivada de las fases orogénicas alpinas. No es posible con precisión localizar en el tiempo, el momento preciso de su apertura, que queda comprendida en las últimas fases del Plioceno antes de comenzar el Pleistoceno, o quizá ya el iniciarse éste.

Los zonas occidentales, a partir de Tarifa hacia el W., y que enlazan con la plataforma continental del amplio Golfo de Cádiz, representan al umbral de entrada del Estrecho: la angostura entre Tarifa

y la bahía de Algeciras, da origen al profundo canal excavado por las aguas, si bien con antecedentes geotectónicos muy marcados; los grandes fondos sobrepasados Gibraltar y Ceuta, son la depresión erosiva en gran parte debida a la acción socavadora de las aguas al irrumpir en el Mediterráneo. Cada una de estas zonas ofrece rasgos geológicos, en el sentido más amplio, muy peculiares, ya anteriormente reseñados.

El Estrecho de Gibraltar es hoy una discontinuidad, una desgarradura de las zonas superficiales, y aún bastante profundas de la corteza terrestre, que separa patentemente las zonas continentales de Eurasia y Africa, en el punto más avanzado hacia Occidente del Mar Mediterráneo.

BIBLIOGRAFIA

García Siñeriz: *La investigación sísmica en el Estrecho de Gibraltar*, «Rev. de la Real Acad. de Cienc. de Madrid», tomo XXXII. Madrid, 1935.

Hernández-Pacheco, Ed.: *Síntesis fisiográfica y geológica de España*, «Trab. del Mus. Nacional de Cienc. Nat.», núm. 38, Madrid, 1935.

— — *Las costas de la Península Hispánica*, «Asoc. Esp. Prog. Cienc. Congreso de Oporto T. Ciencias Natural», Madrid, 1950.

— — *Concepto y desarrollo histórico-geográfico de la Hesperia africana*, «Bol. Real Soc. Esp. de Hist. Nat. T. Ext.», 75 aniversario. Madrid, 1946.

Hernández-Pacheco, F.: *La geografía y la historia de las Hespérides y el Atlas de Africa española*, «Archivos Inst. Est. Africanos», núm. 36, C. S. de I. C., Madrid, 1956.

— — *Características geológicas del Estrecho de Gibraltar y de las comarcas que lo limitan*, «Archivos Inst. Est Africanos», tomo III, Madrid, 1956.

Ibáñez de Ibero, C. (Marqués de Mulhacén): *El túnel del Estrecho de Gibraltar*, «Archivos del Inst. Est. Africanos», Madrid, 1956.

Reig Villaplana, F.: *La estructura del Estrecho de Gibraltar y la posibilidad de las obras de cruce del mismo*, «Archivos Inst. Est. Africanos», tomo VI, Madrid 1958.

Drake, C. L.; Gaibar-Puertas, C.; Nafe, J. E., y Langseth, M.: *Estudios de prospección sísmica por refracción en el Golfo de Cádiz*, «Rev. de Geofísica», núm. 70, Madrid, 1959.

— — *Prospección sísmica submarina en el Golfo de Cádiz*, «Rev. Cienc. Aplicada», Patronato «Juan de la Cierva», núm. 69, Año XIII, fasc. 4, C. S. de I. C., Madrid, 1959.

Gavala y Laborde, J.: *La Geología de la costa y bahía de Cádiz, y el poema «Ora Marítima» de Avieno* (Mapa Geológico de Es-

paña, escala 1:50.000. Explicación de la Hija núm. 1.061, Cádiz). «Inst. Geol. y Min. de España», Madrid, 1959.

Solé Sabarís, L.: *Succession des faunes marines du Pliocen au Quaternaire sur les costes Méditérranéennes d'Espagne et aux Baléares*. «Centre National de la Recherches Scientifique. Col. Inst.», t. LXXXIII, Nice-Villefranche, 1958, París, 1959.

Hernández-Pacheco, Ed.: *Fisiografía del Solar Hispano*, «Real Acad. de Cienc.», t. XV, Ser. Cienc. Nat., Madrid, 1959.

CARTOGRAFIA.

Mapa geológico de la Provincia de Cádiz, por Gavala Laborde, J. Escala 1:100.000, Madrid, 1924.

Carta núm. 105-B. Estrecho de Gibraltar, levantada en San Fernando en 1936 a escala: 100.000, por el Servicio Hidrográfico de la Armada. Segunda edición, Madrid, junio 1952.

Carta batrimétrica del Estrecho de Gibraltar, Instituto Español de Oceanografía. Escala: 1:100.000, Madrid, 1957.

Mapa Topográfico Nacional a escala: 1:50.000, Hojas núms. 1.073-1.074-1 075-1.076-1.077-1.078. Instituto Geográfico y Catastral, Madrid.

Mapa topográfico Provisional de Marruecos Escala: 1:50.000. Depósito de la Guerra. Hojas conjuntas, núms. 1-2-3. Madrid.

88.—A. Fernández del Riego: «Geognosia y Geotectónica de la ría de Vigo.»

89.—A. Fernández del Riego: «Las condiciones de estancamiento en mares interiores, fiordos, bahías y rías, con especial referencia a la de Vigo.» (Encuadernado con el anterior.)

90.—J. González Peña: «Estudio comparativo de la fracción «arcilla» de algunos sedimentos del litoral español». Con un Apéndice de J. Pérez Mateos, sobre «Mineralogía de la fracción «arena» de los sedimentos marinos que se estudian.»

91.—A. Arévalo Arocena: «La fosfatación «directa» de las estructuras marinas.»

92.—A. Fernández del Riego: «El contenido en carbono orgánico, nitrógeno orgánico, fósforo y hierro en los sedimentos de la ría de Vigo y sus variaciones en relación con la profundidad.»

93.—P. Balle: «Análisis cuantitativo del fitoplancton del puerto de Palma de Mallorca, durante los años 1954-55.»

94.—P. Balle: «Nuevos datos sobre el desarrollo del fitoplancton del puerto de Palma de Mallorca. (Desde abril de 1956 a diciembre de 1957.)» (Encuadernado con el anterior.)

95.—P. Balle: «Análisis cuantitativo del fitoplancton del puerto de Palma de Mallorca. (Desde noviembre de 1953 a marzo de 1956.)» (Encuadernado con los dos anteriores.)

96.—R. Molinier y J. Picard: «Nota preliminar sobre algunas poblaciones marinas de la isla de Mallorca.» (Encuadernado con los tres anteriores.)

97.—Jesús Aravio-Torre y Javier Villegas: «Estudios sobre algas industriales españolas.—I. Influencia del tratamiento previo sobre el rendimiento y calidad del agar obtenido del *Gelidium*.»

98.—Ramón Fernández Crehuet y María Jesús del Val Cordón: «Observaciones oceanográficas en la bahía de Málaga. (Marzo 1955 a marzo 1957.)»

99.—Ramón Fernández Crehuet y María Jesús del Val Cordón: «Estudio preliminar sobre la biometría, biología y variación del contenido graso del boquerón (*Engraulis encrasicholus* (L.)) de Málaga.»

100.—Rafael López Costa y Lorenzo Rodríguez Molíns: «Conservación de la sardina por congelación y tratamiento previo.—Primera parte.»

101.—Joaquín Gómez de Llarena: «Observaciones fisiográficas en el litoral de Guipúzcoa.—I. La plataforma de abrasión o «rasa mareal».»

102.—Miguel Massuti: «Estudio del crecimiento relativo de la gamba blanca (*Parapenaeus longirrostris* Lucas) de Mallorca.»

103.—Anónimo: «Campañas biológicas del «Xauen» en las costas del Mediterráneo marroquí, Mar de Alborán, Baleares y Noroeste y Cantábrico españoles en los años 1952, 1953 y 1954. Registro de Operaciones.» Precedido de una «Nota biográfica» sobre don Francisco de P. Navarro Martín, de F. Lozano Cabo.

104.—Alfonso Rojo Lucio: «Sobre el encogimiento de las mallas de cáñamo del copo de las redes de arrastre.»

NOTA.—Pedidos y correspondencia al Sr. Secretario del Instituto Español de Oceanografía, Alcalá, 27. Madrid.

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFIA